



(12) **DEMANDE DE BREVET EUROPEEN**

(21) Numéro de dépôt : 92401209.9

(51) Int. Cl.<sup>5</sup> : **G01S 7/40, G01S 7/48**

(22) Date de dépôt : 28.04.92

(30) Priorité : 29.04.91 FR 9105250

(43) Date de publication de la demande :  
04.11.92 Bulletin 92/45

(84) Etats contractants désignés :  
AT BE CH DE ES FR GB IT LI NL SE

(71) Demandeur : **ALCATEL N.V.**  
Strawinskylaan 341  
NL-1077 XX Amsterdam (NL)

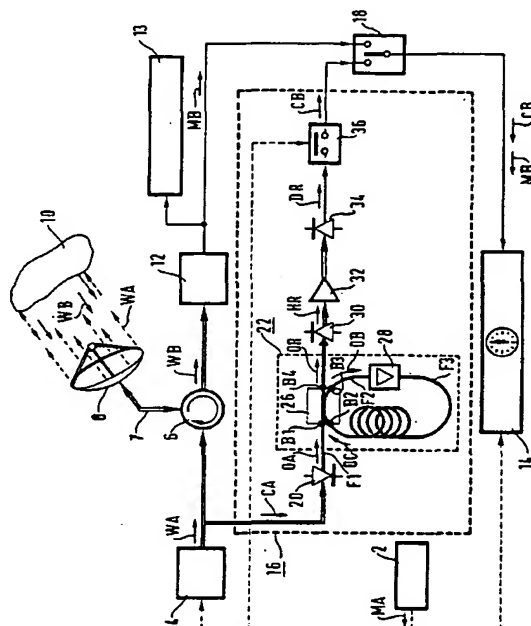
(72) Inventeur : **Maignan, Michel**  
11, rue de l'Ormeteau  
F-91420 Morangis (FR)  
Inventeur : **Vendrome, Gilles**  
25, allée des Charmes  
F-91310 Longpont Sur Orge (FR)

(74) Mandataire : **Bourelly, Paul et al**  
SOSPI 14-16, rue de la Baume  
F-75008 Paris (FR)

(54) **Système de mesure de distances à écho avec dispositif de calibration.**

(57) Le dispositif de calibration (16) comporte une boucle à retard optique à recirculation (22) constituée par deux fibres retardatrices (F2, F3), un amplificateur optique (28) et un coupleur (26) pour fournir une succession de plusieurs signaux retardés optiques (OR) en réponse à un même signal initial optique (OA).

Cette invention s'applique notamment aux radars.



La présente invention concerne de manière générale la mesure de distances et plus particulièrement les radars ou altimètres utilisant l'écho d'ondes d'hyperfréquences. Elle peut cependant s'appliquer à des systèmes tels que des sonars ou des télémètres à laser qui utilisent des ondes de types différents.

La calibration précise des radars à très longue portée ou des altimètres embarqués sur satellite est difficilement réalisable à l'aide de cibles actives, ceci parce qu'il est impossible d'utiliser pour cela des lignes à retard hyperfréquence de plusieurs millisecondes.

Dès l'invention du radar, des cibles de calibration ont été utilisées pour la calibration en distance. Ces cibles passives constituées de réflecteurs métalliques doivent avoir une surface équivalente radar suffisante pour que le rapport de puissance entre les échos de la cible et les échos parasites du sol et de l'environnement soit suffisant pour obtenir la précision de calibration souhaitée. Ces cibles sont encombrantes, peu mobiles, coûteuses et souvent dépendantes de la polarisation de l'onde incidente. C'est pourquoi on a développé des cibles de calibration actives constituées d'une antenne de réception et d'une antenne d'émission reliées par un amplificateur. Leur taille est plus petite et la puissance de leurs échos améliore la précision de la calibration. Toutes ces cibles doivent être placées dans le champ du radar ce qu'il n'est pas toujours possible de faire comme par exemple dans le cas d'un radar à grande portée ou d'un radar altimétrique embarqués sur un satellite ou sur un avion. De plus elles sont toujours tributaires des échos de sol. Pour rapprocher la cible du radar il faut la transformer en un simulateur d'échos c'est-à-dire ajouter à une cible active une ligne à retard sur le parcours des signaux hyperfréquence.

On peut lire à ce sujet l'article : Delayed-action reflector for external calibration of synthetic aperture radar. K. Komiyama, Electronics Letters 30<sup>th</sup> March 1989 Vol. 25 n° 7. p.p. 468.

Les lignes à retard acoustiques ou hyperfréquences électroniques ne permettent pas d'obtenir des retards aussi grands qu'on le souhaiterait. C'est pourquoi il a été proposé d'utiliser pour la calibration des lignes à retard optique constituées de fibres optiques retardatrices de grande longueur. La faible atténuation de la fibre optique permet de réaliser des retards importants et sa grande bande passante permet de faire porter le signal hyperfréquence directement par l'onde optique, sans changement de fréquence.

Il est aussi intéressant de noter que le retard ainsi réalisé est insensible au type de l'impulsion radar en raison de la grande bande passante de la fibre optique.

On peut lire à ce sujet les articles suivants :

- Wideband 150  $\mu$ s optical delay line for satellite altimetric radar checking, M. Maignan, J.J. Bernard, P. de Chat au Thierry, Electronics Letters 7

th July 1988 Vol. 24 N° 14. p.p. 902.

- Radar applications of X-band fiber optic links. I. L. Newberg, C.M. Gee, G.D. Thurmond, O149-645X/88/0000-0987\$01.00 c 1988 IEEE.

- Long Microwave delay fiber-optic link for radar testing. I.L. Newberg, G.D. Thurmond, W. Yen, IEEE Transactions on microwave theory and techniques Vol. 38, N° 5, May 1990.

La présente invention a notamment pour but de réaliser de manière simple et éventuellement avec discrétion une calibration correspondant à des distances à mesurer accrues et/ou réglables, ceci à l'aide d'une ligne à retard optique. Elle a aussi pour but qu'un dispositif de calibration incluant cette ligne soit léger et peu encombrant. De telles qualités permettent en effet d'intégrer le dispositif au système de mesure dans le cas où celui-ci est constitué d'un seul ensemble solide. Dans un cas différent elles permettent d'intégrer ce dispositif à une cible de calibration active fonctionnellement incluse dans le système de mesure mais physiquement séparée de celui-ci. Elle a plus généralement pour but de permettre de former de manière simple une succession régulière d'impulsions à partir d'une impulsion initiale, ou de permettre de sélectionner l'une de ces impulsions de sortie.

Selon cette invention un dispositif de calibration comporte une boucle à retard optique, une telle boucle comportant au moins une fibre optique retardatrice et un coupleur optique pour réaliser une recirculation et fournir ainsi une succession de plusieurs signaux retardés optiques en réponse à un même signal initial optique.

Un tel dispositif à boucle à retard optique peut être utilisé non seulement pour réaliser des cibles actives de calibration des radars à longue portée dans des conditions protégées, mais aussi pour calibrer un radar en opération sans avoir pour cela à émettre un signal décelable de l'extérieur (on peut utiliser alors un commutateur de voies). De plus, une utilisation embarquée sur satellite peut être envisagée pour étalonner un radar d'altimétrie avec précision.

A l'aide de la figure ci-jointe on va maintenant décrire à titre non limitatif comment la présente invention peut être mise en oeuvre.

Cette figure représente une vue d'ensemble d'un système selon la présente invention.

Ce système comporte des moyens d'émission 2, 4, 6, 8. Ces moyens seront appelés par la suite "moyens d'émission de mesure". Ils fournissent un signal initial de mesure MA de nature électrique et émettent une onde de départ WA constituée d'un rayonnement d'exploration et modulée en relation temporelle connue avec ce signal. Plus particulièrement, ils comportent un générateur d'impulsion 2 qui fournit le signal de mesure sous la forme d'une impulsion brève, et un émetteur hyperfréquence 4 qui fournit en réponse l'onde de départ. Un guide d'onde 5 conduit cette onde à un duplexeur 6 qui la conduit, par

l'intermédiaire d'un guide 7, à une antenne 8.

Le système comporte aussi des moyens de réception dits "de mesure" 8, 6, 12. Ces moyens reçoivent une onde de retour WB constituée par un écho de l'onde de départ renvoyée par une cible 10. Ils fournissent en réponse un signal final de mesure MB de nature électrique en relation temporelle prédéterminée avec cette onde de retour.

Plus particulièrement l'antenne 8 reçoit l'onde renvoyée par la cible 10 et la dirige, à travers le guide 7, le duplexeur 6 et un guide 11, vers un récepteur hyperfréquence 12 qui fournit le signal final de mesure MB. Ce signal est notamment traité dans un dispositif de traitement auxiliaire 13 permettant la mesure de paramètres de la cible autres que sa distance, suivant les besoins de l'utilisateur.

Un chronomètre de mesure 14 est disposé pour recevoir d'abord un signal initial de comptage MA qui, au moins dans une configuration de mesure du système, est constitué par le signal initial de mesure MA. Ce chronomètre reçoit ensuite un signal final de comptage qui, dans cette même configuration de mesure, est constitué par le signal final de mesure MB. Il a pour fonction de fournir une valeur représentative du retard présenté par ce signal final de comptage par rapport à ce signal initial de comptage. Cette valeur sera appelée ci-après "valeur de retard". Dans cette configuration de mesure, cette valeur de retard est représentative de la distance de la cible 10.

Plus particulièrement ce signal initial de comptage est toujours constitué par le signal initial de mesure MA.

Le dispositif de calibration 16 du système est conçu pour recevoir un signal initial de calibration CA et pour fournir au moins un signal final de calibration CB présentant un retard calibré connu par rapport à ce signal initial de calibration. Ces signaux initial et final de calibration constituent lesdits signaux initial et final de comptage dans une configuration de calibration du système. Ils permettent alors d'effectuer une opération de calibration qui calibre le chronomètre de mesure 14 et au cours de laquelle ledit signal final de calibration constitue une simulation d'un dit écho.

La structure interne de ce dispositif de calibration sera précisée plus loin.

Des moyens de commutation de configuration permettent de placer le système, alternativement ou simultanément, dans ses configurations de mesure et de calibration. Ces moyens sont plus particulièrement constitués par un commutateur de voies 18 dans le cas où le système de mesure comporte un corps unique. Ils pourraient cependant être constitués autrement, par exemple par des moyens d'activation d'une cible de calibration active, dans le cas où le système de mesure comporterait une telle cible.

Le commutateur de voies 18 reçoit le signal final de mesure MB et le signal final de calibration CB et dirige soit l'un soit l'autre de ces signaux vers le chro-

nomètre 14 pour constituer le signal final de comptage.

Le dispositif de calibration 16 comporte un moyen optique 20 pour fournir un signal initial optique OA en relation de temps prédéterminée avec le signal initial de calibration CA. Plus particulièrement ce moyen optique est un émetteur optique qui reçoit une fraction de l'onde émise par l'émetteur hyperfréquence 4 en réponse au signal initial de mesure MA. Ce dernier est émis au début du processus de calibration comme au début d'un processus de mesure de distance. Cette fraction constitue le signal initial de calibration CA.

Comme connu le dispositif de calibration comporte encore une ligne optique à retard (F2, F3) constituée d'au moins une fibre optique. Une telle ligne présente une entrée B3 pour recevoir des signaux d'entrée de ligne tels que le signal initial optique OA. Elle présente aussi une sortie de ligne B2 sur laquelle elle fournit un signal de sortie de ligne OC en réponse à chacun de ces signaux d'entrée de ligne, ceci avec un retard de ligne calibré par rapport à ce signal d'entrée de ligne. Ce signal de sortie de ligne donne naissance à un signal retardé optique OR.

La structure interne de cet organe est propre à la présente invention et lui permet de fournir non seulement un mais plusieurs tels signaux retardés optiques. Elle sera précisée plus loin.

Un ensemble détecteur reçoit chaque signal retardé optique OR. Il fournit en réponse un signal retardé détecté DR, le signal final de calibration CB étant constitué par un tel signal retardé détecté.

Conformément à la présente invention la ligne optique à retard est comprise dans une boucle optique à retard 22 qui comporte aussi un coupleur optique 26. Ce coupleur comporte une première borne B1 constituant une entrée de boucle pour recevoir le signal initial optique OA. Une deuxième borne B2 constitue ladite sortie de ligne pour recevoir les signaux de sortie de ligne OC. Une troisième borne B3 constitue ladite entrée de ligne pour injecter dans la ligne à retard optique une fraction circulant du signal initial optique et de chacun des signaux de sortie de ligne de manière que les fractions ainsi injectées constituent lesdits signaux d'entrée de ligne OB ce qui réalise une recirculation des signaux. Le retard de ligne constitue alors un retard élémentaire. Le coupleur 26 présente enfin une quatrième borne B4 constituant une sortie de boucle pour fournir une succession de signaux retardés optiques OR constitués respectivement par des fractions sortantes des signaux de sortie de ligne OC. Ces signaux retardés optiques présentent, par rapport au signal initial optique OA, des retards calibrés égaux au retard élémentaire multiplié par les nombres entiers successifs.

La boucle 22 comporte encore un amplificateur de boucle 28 qui est un amplificateur optique inséré en série pour compenser partiellement les pertes d'énergie que les signaux d'entrée et de sortie de li-

gne subissent dans cette boucle et dans le coupleur optique .

Plus particulièrement la ligne optique à retard est constituée d'une première fibre optique F2 alimentant l'amplificateur 28 et d'une deuxième fibre F3 de même longueur alimentée par cet amplificateur.

L'ensemble détecteur 30, 32, 34 reçoit les signaux retardés optiques OR et fournit en réponse une succession correspondante de signaux retardés détectés DR. Plus particulièrement cet ensemble comporte un détecteur optique 30 pour fournir un signal hyperfréquence retardé HR en réponse à chaque signal optique retardé OR, un amplificateur hyperfréquence 32 pour amplifier ce signal hyperfréquence retardé, et un détecteur hyperfréquence 34 pour fournir un signal retardé détecté en réponse à ce signal hyperfréquence retardé HR.

Le dispositif de calibration comporte encore un sélecteur de signal 36 recevant cette succession de signaux retardés détectés DR et arrêtant une fraction initiale de cette succession. Le premier signal retardé détecté qui n'est pas arrêté est transmis en sortie du dispositif de calibration 16 pour constituer le signal final de calibration CB.

Ce sélecteur de signal 36 est déclenché par un signal de déclenchement de sélection MA en relation temporelle connue avec le signal initial de calibration CA pour sélectionner le signal final de calibration CB dans la succession de signaux retardés détectés DR. Plus particulièrement ce signal de déclenchement de sélection est constitué par le signal initial de mesure MA.

La sélection du signal final de calibration peut se faire grâce à un comptage des signaux retardés détectés. Le sélecteur 36 arrête alors par exemple les quatre premiers signaux retardés détectés et laisse passer le cinquième pour constituer le signal final de calibration qui va arrêter le chronomètre 14. Le nombre de signaux arrêtés est réglable. Cette sélection peut se faire aussi en arrêtant les signaux retardés détectés pendant un laps de temps prédéterminé réglable qui n'a pas besoin d'être déterminé avec une grande précision puisqu'il doit seulement se terminer dans l'intervalle entre deux signaux retardés détectés successifs.

Le retard présenté par le signal final de calibration CB par rapport au signal initial de calibration CA est ainsi rendu égal à un nombre entier réglable de retards élémentaires calibrés.

A titre d'exemple l'émetteur optique 20 peut être constitué par un semiconducteur modulable par le courant. Sa puissance d'émission vaut 1 mW optique et est injectée dans une fibre F1 en entrée du coupleur optique 26. La densité de bruit d'intensité est de -150 dBm/Hz.

Le coupleur optique 26 peut présenter les taux de couplage suivants :

- de la borne B1 vers la borne B4 : 45%

- de la borne B1 vers la borne B3 : 45%.

L'amplificateur optique 28 peut être constitué par une fibre optique dopée à l'erbium et pompée optiquement. Il peut alors avoir les caractéristiques suivantes :

- gain = 22 dB
- densité de puissance d'émission spontanée = -20 dBm/nm
- largeur du filtre optique = 0,3 nm.

Les fibres optiques F2 et F3 peuvent être longues chacune de 50 km, avoir une atténuation de 0,2 dB/km, et un temps de propagation de cinq microsecondes par kilomètre pour obtenir un retard élémentaire de 500 microsecondes.

Le détecteur optique 30 peut être constitué par une photodiode chargée par une impédance de 50 ohms.

Dans ces conditions, si l'on module l'émetteur 20 par un signal CA en forme d'impulsion sinusoïdale de puissance moyenne de l'ordre + 10 dBm, on obtient une suite de signaux hyperfréquence détectés HR en forme d'impulsions dont les puissances aux bornes de la photodiode 30 sont environ comme suit :

- pour la première impulsion -30 dBm
- pour chacune des impulsions suivantes : La puissance de l'impulsion précédente diminuée de 3 dB.

Le bruit dans ces conditions a une densité de puissance d'environ de -150 dBm/Hz.

## Revendications

1/ Ligne à retard optique comportant une fibre optique retardatrice (F2, F3) disposée en boucle, et un coupleur optique (26), ce coupleur étant disposé pour permettre d'injecter et de faire circuler dans cette fibre un signal initial optique qui est à retarder, pour permettre de réinjecter dans cette fibre au moins une fraction d'un signal optique qui y a circulé, et pour permettre d'extraire de cette fibre au moins une fraction d'un signal optique qui y a circulé, de manière que cette fraction extraite puisse constituer un signal retardé optique à fournir en réponse audit signal initial optique, cette ligne à retard étant caractérisée par le fait qu'elle comporte en outre un amplificateur de boucle (28) disposé pour amplifier le signal optique qui circule dans la fibre optique retardatrice.

2/ Ligne à retard pour signaux de nature électrique, caractérisée par le fait qu'elle comporte des moyens (20) pour transformer des signaux de nature électrique à retarder en signaux optiques à retarder, une ligne à retard optique selon la revendication 1 pour recevoir et retarder ces signaux optiques à retarder, et des moyens (30, 32, 34) pour transformer lesdits signaux retardés optiques en signaux de nature électrique retardés.

3/ Système de mesure de distances à écho avec

dispositif de calibration utilisant une ligne à retard, ce système étant caractérisé par le fait que la ligne à retard utilisée par le dispositif de calibration (16) est une ligne à retard selon la revendication 2.

4/ Système de mesure de distances à écho avec dispositif de calibration utilisant une ligne à retard optique, ce système comportant :

- des moyens d'émission de mesure (2, 4, 6, 8) pour fournir un signal initial de mesure (MA) de nature électrique et pour émettre une onde de départ (WA) modulée en relation temporelle connue avec ce signal,
- des moyens de réception de mesure (8, 6, 12) pour recevoir une onde de retour (WB) constituée par un écho de ladite onde de départ renvoyée par une cible (10) et pour fournir un signal final de mesure (MB) de nature électrique en relation temporelle prédéterminée avec cette onde de retour,
- un chronomètre de mesure (14) pour recevoir un signal initial de comptage (MA) qui, au moins dans une configuration de mesure dudit système, est constitué par ledit signal initial de mesure (MA), pour recevoir un signal final de comptage (MB, CB) qui, dans ladite configuration de mesure, est constitué par ledit signal final de mesure (MB), et pour fournir une valeur de retard représentative du retard présenté par ce signal final de comptage par rapport à ce signal initial de comptage, de manière que, dans cette configuration de mesure, cette valeur de retard soit représentative de la distance de ladite cible (10),
- un dispositif de calibration (16) pour recevoir un signal initial de calibration (CA) et pour fournir au moins un signal final de calibration (CB) présentant un retard calibré connu par rapport à ce signal initial de calibration, ces signaux initial et final de calibration constituant lesdits signaux initial et final de comptage dans une configuration de calibration dudit système de manière à permettre d'effectuer une opération de calibration qui calibre ledit chronomètre de mesure (14) et au cours de laquelle ledit signal final de calibration constitue une simulation d'un dit écho,
- et des moyens de commutation de configuration (18) pour placer ledit système dans ses dites configurations de mesure et/ou de calibration,
- ledit dispositif de calibration (16) comportant :
  - un moyen optique (20) pour fournir un signal initial optique (OA) en relation de temps prédéterminée avec ledit signal initial de calibration (CA),
  - une ligne à retard optique comportant au moins une fibre optique retardatrice (F2, F3) pour recevoir ce signal initial optique et pour fournir en réponse un signal retardé optique,
  - et un ensemble détecteur (30, 32, 34) pour recevoir ce signal retardé optique (OR) et pour fournir en réponse un signal retardé détecté (DR), le-

dit signal final de calibration (CB) étant constitué par un dit signal retardé détecté,

- ledit système étant caractérisé par le fait que ladite ligne à retard optique est une ligne à retard selon la revendication 1, cette ligne constituant une boucle optique à retard (22), ledit coupleur optique (26) présentant une première borne (B1) constituant une entrée de boucle pour recevoir ledit signal initial optique (OA), une deuxième borne (B2) pour recevoir les signaux optiques qui ont circulé dans ladite fibre optique retardatrice (OC), une troisième borne (B3) pour permettre d'injecter dans cette fibre au moins une fraction de ce signal initial optique et des signaux optiques qui ont circulé dans ladite fibre optique retardatrice (OB) en réalisant une recirculation, le retard appliqué par cette fibre à chaque circulation de ces signaux constituant un retard élémentaire, ce coupleur présentant enfin une quatrième borne (B4) constituant une sortie de boucle pour fournir une succession de dits signaux retardés optiques (OR) constitués respectivement par des fractions sortantes des signaux optiques qui ont circulé dans ladite fibre optique retardatrice (OC),
- ledit amplificateur de boucle (28) étant un amplificateur optique inséré en série dans cette boucle pour compenser partiellement les pertes d'énergie que lesdits signaux optiques subissent dans cette boucle et dans ledit coupleur optique (26),
- ledit ensemble détecteur (30, 32, 34) recevant ladite succession de signaux retardés optiques (OR), et fournissant en réponse une succession correspondante de dits signaux retardés détectés (DR),
- ledit dispositif de calibration (16) comportant enfin un sélecteur de signal (36) recevant cette succession de signaux retardés détectés (DR), arrêtant une fraction initiale de cette succession et transmettant ensuite un dit signal retardé détecté pour constituer ledit signal final de calibration (CB).

5/ Système selon la revendication 4, caractérisé par le fait que ladite onde de départ est une onde hyperfréquence.

6/ Système selon la revendication 4, caractérisé par le fait que ledit sélecteur de signal (36) est déclenché par un signal de déclenchement de sélection (MA) en relation temporelle connue avec ledit signal initial de calibration (CA) pour sélectionner ledit signal final de calibration (CB) dans ladite succession de signaux retardés détectés (DR).

7/ Système selon la revendication 5, caractérisé par le fait que ledit signal initial de calibration (CA) est constitué par une fraction d'une dite onde de départ (WA), ledit moyen optique fournissant ledit signal initial optique (OA) étant un émetteur optique (20) commandé par ledit signal initial de calibration (CA), ledit ensemble de détection comportant un détecteur

optique (30) pour fournir un signal hyperfréquence retardé (HR) en réponse à chaque dit signal optique retardé (OR), un amplificateur hyperfréquence (32) pour amplifier ce signal hyperfréquence retardé, et un détecteur hyperfréquence (34) pour fournir un dit signal retardé détecté en réponse à ce signal hyperfréquence retardé (HR). 5

8/ Dispositif de calibration pour système de mesure de distances à écho, ce dispositif étant caractérisé comme selon l'une quelconque des revendications 4 à 7. 10

15

20

25

30

35

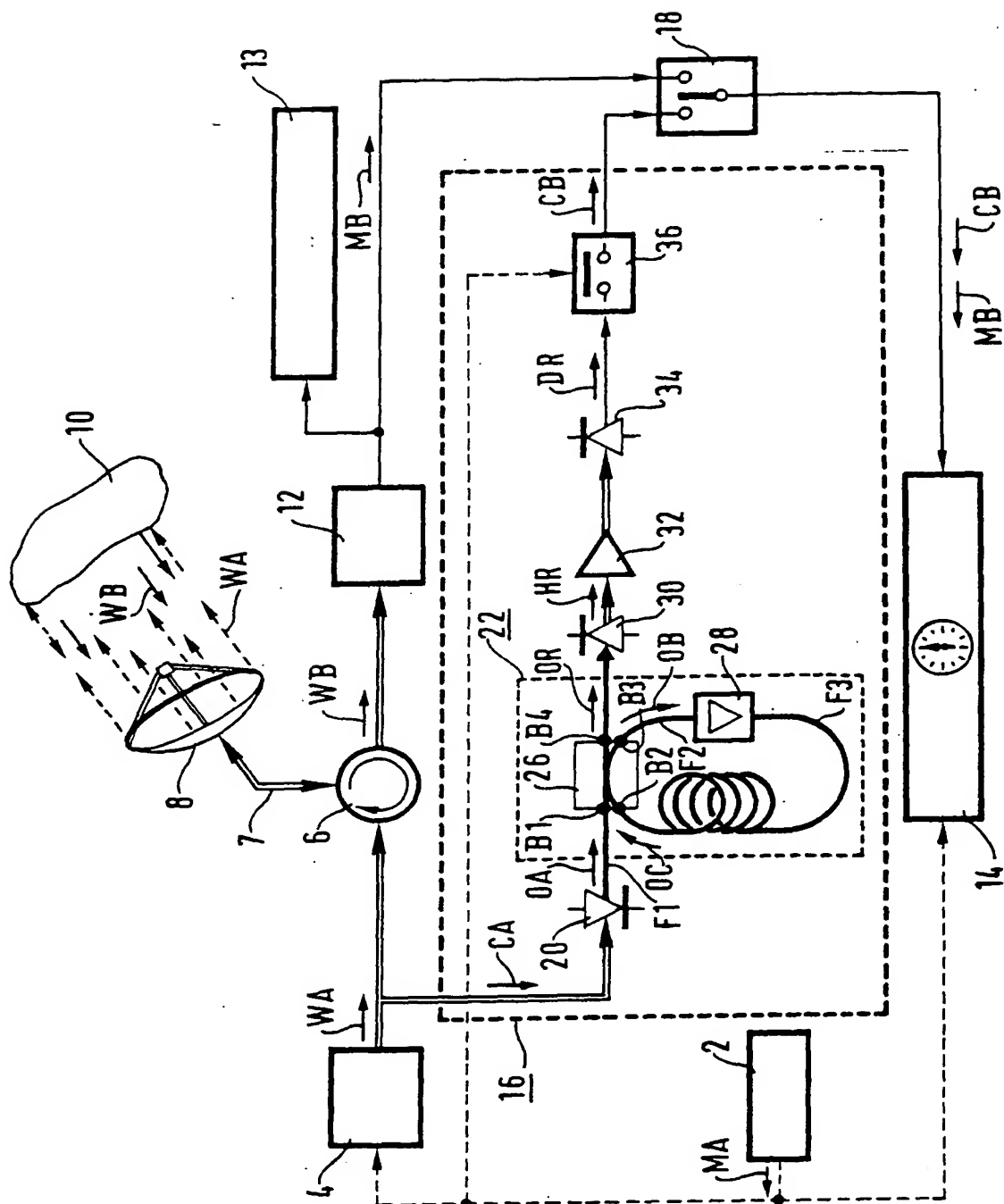
40

45

50

55

6





Office européen  
des brevets

# RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numero de la demande

EP 92 40 1209

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (Int. Cl.5)
Y	FR-A-2 546 307 (BARR & STROUD LTD)	1	G01S7/40
A	* abrégé *	4,7,8	G01S7/48
	* page 2, ligne 23 - ligne 33; figure 2 *		
	---		
D,Y	IEEE TRANSACTIONS ON MICROWAVE THEORY AND TECHNIQUES. vol. 38, no. 5, Mai 1990, NEW YORK US pages 664 - 666; I. L. NEWBERG ET AL.: 'Long Microwave Delay Fiber-Optic Link for Radar Testing'	1	
D,X	* le document en entier *	2,3	
D,A		4,5,7,8	
	---		
A	US-A-4 683 473 (HAUGLAND) * abrégé *	1,2,4-8	
	* colonne 2, ligne 45 - colonne 4, ligne 51 *		
	---		
A	GB-A-2 218 588 (BARR & STROUD LTD) * abrégé *	1,4,7,8	
	* figures 1,2 *		
	---		
A	GB-A-2 003 358 (NISSAN) * abrégé *	4,8	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int. Cl.5)
	* page 2, colonne de gauche, ligne 9 - ligne 32 *		G01S
	-----		
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche LA HAYE		Date d'achèvement de la recherche 17 JUILLET 1992	Examineur Francesco Zaccà
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES		T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons ----- & : membre de la même famille, document correspondant	
X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire			

EPO FORM 1500 (12.92) (P0402)